



А.Б. Жидков, генеральный директор, В.В. Власов, Д.Е. Денисов (ООО «Алитер-Акси»)

## Опыт изготовления и эксплуатации абразивостойких элементов установок каталитического крекинга

Установки каталитического крекинга (КК) с пылевидным катализатором типа 1А-1М, ГК-3, Г-43-107 широко используются в нефтеперерабатывающей промышленности. В последнее десятилетие эти установки активно реконструировались с целью улучшения технологических параметров при участии ведущих американских фирм (в Рязани и Ярославле) и российских специалистов (в Ангарске, Уфе, Лисичанске, Туркменбаши). Особенность установок КК — наличие элементов, которые подвержены абразивному изнашиванию при повышенных температурах (400–700 °С). Современные реконструкции этих установок приводят к увеличению скорости движения катализатора по транспортным линиям, циклонам и, как следствие, к увеличению скорости их абразивного изнашивания.

ООО «Алитер-Акси» изготавливает абразивостойкие элементы установок КК с середины 80-х годов (см. 2-ю стр. обложки).

В процессе строительства и эксплуатации установок КК футеровку абразивостойких элементов как в СССР, так и за рубежом выполняли из абразивостойкого бетона толщиной 20–25 мм, который наносили на гексагональную панцирную сетку [1, 2]. Панцирная сетка наваривалась на металлическую поверхность циклонов. В реакторе, регенераторе, транспортных линиях панцирная сетка наваривалась на стойки (100–130 мм). Между сеткой с абразивостойким слоем и стенкой реактора (регенератора, транспортной линии) укладывался слой теплоизоляционного бетона (рис. 1).

Анализ отечественного, а также зарубежного опыта изготовления абразивостойких элементов установок КК показывает, что этот подход сегодня должен быть существенно переработан.

На рис. 2 схематично изображены три основных типа установок КК с пылевидным катализатором, эксплуатирующихся в России. С точки зрения абразивного изнашивания в них можно выделить четыре основных участка:

- циклоны реактора и регенератора;
- реактор и регенератор;
- вертикальные участки транспортных линий и стойки;
- поворотные участки транспортных линий.

Правильно выполненная футеровка должна быть дифференцированной. При выборе огнеупорного материала для футеровки того или иного участка необходимо стремиться к оптимальному сочетанию таких характеристик, как абразивостойкость, теплопроводность, устойчивость к восстановительной атмосфере, технологичность нанесения, цена.

Сравнительные характеристики абразивостойких бетонов производства ООО «Алитер-Акси» приведены в таблице и на рис. 3.

ООО «Алитер-Акси» поставляет для установок КК около десятка различных смесей, которые могут быть разбиты на три основные группы:

- бетоны с пониженным содержанием цемента серии АЛИТ, обладающие самой высокой абразивостойкостью. Смеси АЛИТ содержат в 2–3 раза меньше цемента, чем классические бетоны, что компенсируется введением в их состав ультрадисперсных порошков (размер частиц 1 мкм и менее), пластификаторов, дефлокулянтов, регуляторов скорости схватывания и твердения. Состав этих смесей

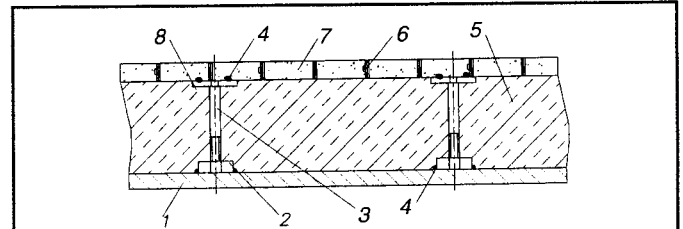


Рис. 1. Схема двухслойной футеровки:

1 — стенка реактора (регенератора, транспортной линии); 2 — гайка; 3 — стойка; 4 — сварка; 5 — теплоизоляционный бетон; 6 — панцирная сетка; 7 — абразивостойкий слой; 8 — шайба

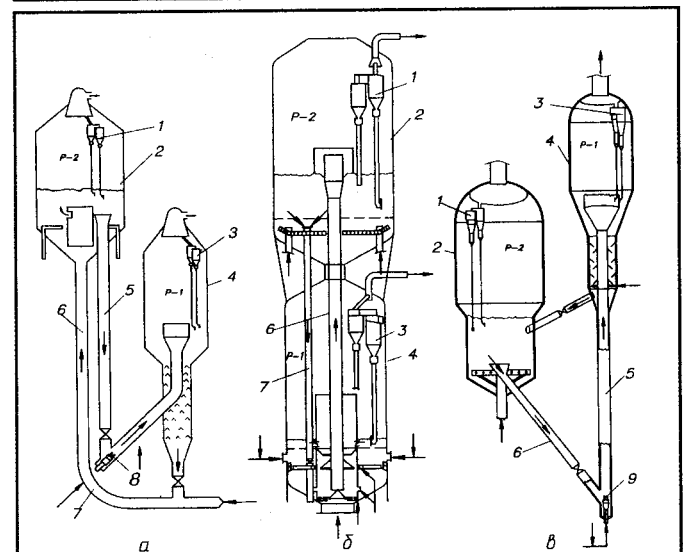


Рис. 2. Схемы установок каталитического крекинга:

а — 1А-1М; б — ГК-3; в — Г-43-107; 1 — циклон регенератора; 2 — футеровка регенератора; 3 — циклон реактора; 4 — футеровка реактора; 5 — прямой участок линии реактора; 6 — прямой участок линии регенератора; 7 — поворотный участок линии регенератора; 8 — захватное устройство; 9 — J-образный переход

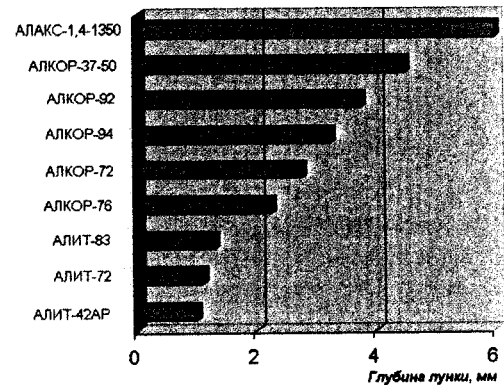


Рис. 3. Абразивостойкость различных бетонов производства ООО «Алитер-Акси»

сложен и сбалансирован, они состоят из 8–13 компонентов. По абразивостойкости бетоны серии АЛИТ соответствуют лучшим зарубежным аналогам;

- бетоны серии АЛКОР — смесь плотных огнеупорных заполнителей различных фракций с алюминаткальциевыми цементами. Бетон АЛКОР-94 аналогичен традиционно применяемой для футеровки установок КК смеси корундовых шлифовальных порошков с цементом «Талюм». Отличие заключается в тщательном подборе зернового состава корундового заполнителя и использовании более качественного цемента «Secar» производства французской фирмы Lafarge Aluminates;

- бетоны серии АЛАКС на основе пористых заполнителей, обладающие низкой теплопроводностью. Бетоны АЛАКС-1,4-1250 и АЛАКС-1,4-1350 имеют достаточную для определенных условий эксплуатации абразивостойкость. Смеси плотностью до 1 г/см<sup>3</sup> (АЛАКС-1,0-1000 и АЛАКС-0,8-1000) не являются абразивостойкими и не могут применяться в рабочих слоях футеровки при наличии даже незначительного абразивного воздействия со стороны пылевидного катализатора.

#### Основные принципы традиционного подхода к созданию абразивостойких бетонов:

- использование абразивостойкого огнеупорного заполнителя с максимальной твердостью, т.е. электроплавляемый корунд (шлифовальные порошки);
- использование наиболее прочного огнеупорного цемента («Талюм»);
- увеличение содержания цемента по сравнению с аналогичными бетонами, применяемыми в металлургии от 15–17 до 20–30 % для повышения прочности бетона.

Анализируя свойства бетонов, приведенные в таблице, а также опыт применения абразивостойких смесей в нефтеперерабатывающей, химической, цементной промышленности, в энергетике, можно сделать следующие выводы.

По-видимому, определяющим является не твердость заполнителя, а плотность и прочность тонкодисперсной матрицы и наличие прочных связей между матрицей и зернами.

В бетонах с большим содержанием цемента абразивное изнашивание происходит путем «вымывания» зерен. Поэтому в бетонах АЛКОР увеличение содержания цемента сверх оптимального уровня, хотя и сопровождается увеличением прочности, но приводит к снижению абразивостойкости (так, абразивостойкость АЛКОР-76 и АЛКОР-94 выше абразивостойкости соответственно АЛКОР-72 и АЛКОР-92). Вероятно, практически беспористые зерна плавленного корунда недостаточно хорошо удерживаются на поверхности бетона при абразивном воздействии.

Абразивостойкость бокситовых бетонов выше абразивостойкости корундовых (у АЛКОР-72 выше, чем у АЛКОР-92, у АЛКОР-76 выше, чем у АЛКОР-94, у АЛИТ-72 выше, чем у АЛИТ-83). Наиболее распространенные за рубежом абразивостойкие бетоны (например, Resco 22S, АСТСНЕМ) также изготавливаются на основе боксита.

Следует отметить, что наибольшей абразивостойкостью отличаются бетоны АЛИТ, имеющие очень плотную структуру. Наилучшие теплоизоляционные свойства футеровки обеспечивает бетон АЛИТ-42АР, сочетающий высокую абразивостойкость, термостойкость и относительно низкую теплопроводность. Этот бетон успешно опробован в самых разнообразных тепловых агрегатах различных отраслей промышленности. По-видимому, бетоны АЛИТ должны шире применяться и в установках КК, например для футеровки поворотных участков транспортных линий.

#### Рассмотрим примеры изготовления футеровки различных частей установок КК

##### Циклоны реактора и регенератора

ООО «Алитер-Акси» изготавливает циклоны по традиционной схеме армирования (панцирная сетка, наваренная на стенку циклона). В местах радиусом менее 500 мм

Бетон	Основной заполнитель	Содержание цемента, %	Наличие ультрадисперсных и модифицирующих добавок	Абразивостойкость* (по ГОСТ 3647-80), мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент теплопроводности при средней температуре 500 °С, Вт/(м·К)
					после обжига при температуре 800 °С		
АЛИТ-42АР	неземистый шамот	7–12	+	0,8–1,2	2,3	70–90	1,3
АЛИТ-72ТМ	Боксит			1,0–1,2	2,8	100–150	2,0
АЛИТ-83	Корунд			1,2–1,5	3,0	120–200	2,8
АЛКОР-37-50	Шамот	22–27		4–5	2,0	30–40	0,8
АЛКОР-76	Боксит	18–20		2–2,5	2,5	50–70	1,6
АЛКОР-72	Боксит	23–25	–	2,5–3,0	2,5	60–80	1,6
АЛКОР-94	Корунд	18–20		3–3,5	2,8	60–80	2,5
АЛКОР-92	Корунд	23–25		3,5–4	2,8	70–90	2,5
АЛАКС-1,4-1350	Легковесный шамот	30–35	–	5–7	1,4	8–10	0,5
АЛАКС-1,4-1250				5–7	1,4		
АЛАКС-0,8-1000	Вермикулит, перлит	40–50	–	–	0,8	3–5	0,2
АЛАКС-1,0-1000				–	1,0	5–10	0,3

\* Определена пескоструйным методом (значения соответствуют глубине лунки: чем глубже лунка, тем меньше абразивостойкость).

используется S-образные анкеры. На сетку наносятся смеси АЛИТ-83 или АЛКОР-94.

Циклоны реактора испытывают меньшие абразивные нагрузки, однако в газовой фазе много коксообразующих веществ, которые осаждаются в порах, где происходит их коксование, сопровождающееся значительным увеличением объема и вызывающее сколы футеровки. Так, в образцах футеровки, снятых с циклонов реактора установки 1А-1М (АО «Уфанефтехим»), обнаружено от 6 до 14 % (мас.) кокса. С учетом разности в плотностях это составляет до 30 % (об.). Абразивного изнашивания практически не наблюдалось.

Основное требование к бетону в этих циклонах — минимальная пористость. Способ нанесения массы на циклоны традиционный — уплотнение вибраторами или пневмотрамбовками заподлицо с панцирной сеткой, наваренной на стенки циклона.

Изготовленные ООО «Алитер-Акси» циклоны реактора и регенератора для четырех установок КК (первая поставка в 1995 г. в Ангарск на установку ГК-3) работают до сих пор.

#### **Реактор и регенератор**

Футеровка реактора и регенератора выполняет функции как абразивной защиты, так и теплоизоляции. Хотя абразивный износ стенок реактора и регенератора значительно ниже, чем в циклонах, инструкции 70-80-х годов [1, 2] предписывали изготавливать эти элементы с двухслойной футеровкой: первый слой — теплоизоляционный из легковесного бетона, второй — по панцирной сетке или по V-образным анкерам, наваренным на стойки, из жаростойкого бетона на основе плотных заполнителей.

Рекомендуется выполнять футеровку из одного слоя бетона АЛАКС-1,4-1350 плотностью 1,4–1,5 г/см<sup>3</sup>. Его прочность достаточно высока для обеспечения защиты от абразивного изнашивания, а теплопроводность достаточно низка для обеспечения защиты корпуса от высоких температур и снижения потерь тепла. Такая футеровка намного дешевле двухслойной и технологичнее в нанесении, более долговечна и ремонтпригодна.

Необходимо учитывать, что в футеровке реактора нежелательно присутствие веществ, склонных к реакции восстановления (например Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Коксообразование на стенках реактора также сказывается негативно на футеровке: повышается теплопроводность, возможны сколы. Эти процессы достаточно медленные, не приводят к разрушениям, но оказывают негативное воздействие на футеровку, снижая ее прочность и увеличивая теплопроводность [3].

#### **Транспортные линии**

Транспортные линии — это наиболее сложные участки для монтажа футеровки. Согласно инструкций [1, 2] все транспортные линии должны футероваться двухслойным бетоном толщиной 150 мм (теплоизоляционный легковесный слой 120–125 мм и панцирный абразивостойкий на основе корунда и высокоглиноземистого цемента 25–30 мм). Эта конструкция обеспечивала теплосбережение (температура наружной стенки 100–150 °С), но не всегда обладала достаточной абразивостойкостью. Панцирный слой, выполненный по такой технологии, имеет предел прочности при сжатии около 50 Н/мм<sup>2</sup>. Любые локальные повреждения в панцирном слое (выпадение футеровки, деформация сетки и т.п.) иногда приводили к полному размыванию этого участка в течение нескольких недель.

Очевидно, предпочтительнее однослойная футеровка, несмотря на небольшие теплотери, которые при этом возникают. Тем более, что сейчас появились абразивостойкие бетоны, которые превосходят по абразивостойкости корундовые бетоны, но обладают в 2 раза более низкой теплопроводностью (Resco 17EC, АЛИТ-42АР и др.) [4].

С точки зрения технологичности укладки бетона (и, следовательно, его качества) однослойная футеровка имеет неоспоримые преимущества. Если двухслойная футеровка с армирующей панцирной сеткой наносится вручную путем последовательного выполнения ряда трудоемких операций, то укладка абразивостойкого бетона в один слой на специализированных предприятиях производится на специальных стендах с использованием разборной металлической опалубки и навесных вибраторов. Вибраторы располагаются по определенной схеме, зависящей от геометрии футеруемого изделия. Порядок их включения и выключения, а также частота и амплитуда вибрации также регулируются в процессе укладки бетона по определенному алгоритму. Такая технология высокопроизводительна и позволяет получить бетон с более высокой плотностью и прочностью, чем при укладке вручную.

#### **Вертикальные участки и стойки**

Футеровку прямых вертикальных участков транспортных линий рекомендуется изготавливать в один слой из смеси АЛКОР-76 (плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>). При футеровке стоек, по которым катализатор движется вниз самотеком, можно использовать АЛКОР-37-50 (плотность 2,0 г/см<sup>3</sup>). Температура наружной стенки стоек с однослойной футеровкой выше, чем при использовании двухслойной футеровки, но опыт показывает, что они надежно работают уже более 8 лет.

#### **Поворотные участки**

Поворотные участки наиболее трудны в изготовлении. В том случае, если поток катализатора поворачивается стенками транспортной линии (например, в установке 1А-1М на линии регенератора и в захватном устройстве, см. рис. 2) необходимо использовать наиболее абразивостойкую смесь АЛИТ-42АР или АЛИТ-72ТМ. В J-образном переходе установки Г-43-107 (см. рис. 2) поток катализатора поворачивается как стенками транспортной линии, так и потоком сырья и пара, подводимых к стенкам линии. Для этого элемента можно использовать смеси АЛИТ-42АР, АЛИТ-72ТМ, АЛКОР-72, АЛКОР-76. Изготовление этих элементов связано с трудностью заливки смеси из-за их сложной геометрической формы.

Сегодня ООО «Алитер-Акси» решены не все проблемы изготовления и эффективной эксплуатации абразивостойких элементов установок каталитического крекинга. Однако по всем позициям, кроме поворотных участков, достигнут уровень американских стандартов (срок службы 5 лет и более).

#### **Список литературы**

1. Инструкция ВНИИнефтемаша по изготовлению футеровки в реакторе и регенераторе установки каталитического крекинга Г-43-107. М., 1995. 25 с.
2. *Prospect* фирмы Resco products, 4-87-5M.
3. *Tassot P., Bachmann E., Johnson R.C.* The Influence of Reducing Atmospheres on Monolithic Refractory Linings for Petrochemical Service. UNITECR'01. Cancun, Mexico, Proc. V. II. P. 858-871.
4. *Leg Antalffy.* Convert hot wall FCCU lines to cold wall design // *Hydrocarbon Processing*. 1986. V. 1. P. 58-62.